

4. 水 理

4.1 陸水

原子力科学研究所敷地内の地下水流は極めて複雑であるが、大略西より東へ、すなわち陸側より海側に向っている。

用水については、茨城県企業局県央広域工業用水道事業から、工業用水として処理した水の供給を受ける。

4.2 海洋

海況の一般的傾向としては、次のとおりである。すなわちこの付近の海は、鹿島灘沖を北東に向って流れる“くろしお”本流と、釧路沖から金華山沖を南下する“おやしお”との混合水域である。また、ときには対馬暖流が三陸沿岸を南下してこの水域に達することもある。これら三水魂の消長は季節により、また年によって大きく異なる。東海沖では、降雨の多い季節には久慈川から放流される河川水の影響が、沿岸の塩素量等にはっきり現れる。

海洋拡散については、東海沖で行った染料拡散実験結果がある程度まとまっている。東海付近海域での拡散実験は染料をトレーサーとして多数回行われた。これらの結果を総合すると、連続放出の場合おおむね次の式で表わすことができる。

$$X_s(x, y) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}VCx} \exp\left[-\frac{y^2}{2C^2x^2}\right]$$

X_s : 面積濃度 (Bq/cm²) x : 流下軸 (cm)
 Q : 放出率 (Bq/s) y : x と直角な水平座標 (cm)
 V : 流速 (cm/s) C : 拡散に関する定数

この式で C の値を約 0.1 にとると実験値とかなりよく一致する。いま東海沖の平均的状态として $V=10\text{cm/s}$ 、深さ 10m で鉛直方向には一様に混合すると仮定すると、1 Bq/s の放出に対して流下軸上の濃度は下表のようになる。

流下軸上距離 (m)	100	200	500	1,000
濃度 (Bq/cm ³)	4×10^{-8}	2×10^{-8}	8×10^{-9}	4×10^{-9}

高潮は、台風等のときの強風による表面水の吹き寄せ現象と気圧の低下による表面の上昇効果の重畳と考えられている。伊勢湾台風のときの高潮による水面上昇は最高 3.4m であったが直線的沿岸で高潮による被害が問題になった例はない。したがって、最悪の場合を仮定しても高潮による水位上昇は 2 m 程度である。また、平均海面と潮位差は 1.5m 程度と考えられるので、満潮時と重なったとしても 3.5m 程度の水位上昇にとどまる。異常潮位については 40cm 程度と実測

されており、海拔 7 m 以上の台地に設置される原子力科学研究所の原子炉施設に対する影響はない。

5. 地震

5.1 概要

施設の耐震設計において基準とする地震動（以下「基準地震動S_s」という。）は、以下の方針により策定する。

- ①「3. 地盤」に記載されている敷地周辺における活断層の性質や、敷地周辺における地震発生状況等を考慮して、その発生様式による地震の分類を行った上で、敷地に大きな影響を与えると考えられる地震（以下「検討用地震」という。）を選定した後、敷地での地震動評価を実施し、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を評価する。
- ②敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内地震の全てを事前に評価し得るとは言い切れないとの観点から、「震源を特定せず策定する地震動」を評価する。
- ③「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」の評価結果に基づき、基準地震動S_sを策定する。

5.2 敷地周辺の地震発生状況

敷地が位置する茨城県周辺は、陸のプレート、太平洋プレート及びフィリピン海プレートの3つのプレートが位置する場所である。敷地周辺で発生する地震は、陸のプレートで発生する内陸地殻内地震、各プレートの境界で発生するプレート間地震及び太平洋プレートやフィリピン海プレートで発生する海洋プレート内地震に分類される。

5.2.1 過去の被害地震

第5.2-1図は、宇佐美ほかの「日本被害地震総覧」（2013）⁽¹⁾及び気象庁の「気象庁地震カタログ」（2014）⁽²⁾に記載されている被害地震のうち、敷地からの震央距離が約200km以内の被害地震の震央分布を示したものである。なお、第5.2-1図に示した被害地震の諸元を第5.2-1表に示す。

ここで、地震の規模及び震央位置は、1922年以前の地震については宇佐美ほか（2013）⁽¹⁾を、1923年以降の地震については気象庁（2014）⁽²⁾を用いている。

5.2.2 敷地周辺の地震活動

気象庁で観測された1923年から2012年までの敷地から約200km以内の範囲に発生したマグニチュード（以下「M」という。）4.0以上の地震の震央分布を深度別に第5.2-2図に示す。また、敷地付近を横切る幅50kmの範囲に分布する震源の鉛直分布を第5.2-3図に示す。

さらに、気象庁で観測された1998年から2012年までの敷地から約100km以内の範囲に発生したM4.0以下の地震の震央分布を深度別に第5.2-4図に示す。また、敷地付近を横切る幅50kmの範囲に分布する震源の鉛直分布を第5.2-5図に示す。

5.3 活断層の分布状況

敷地周辺で実施した地質調査の結果は「3. 地盤」に記載されている。

「3. 地盤」の検討結果に基づき、敷地周辺の活断層等の分布を第 5.3-1 図に示す。

5.4 地震の分類

第 5.4-1 表に示す気象庁（2009）⁽³⁾ による震度階級関連解説表によれば、地震によって建物等に被害が発生するのは震度 5 弱（1996 年以前は震度 V）程度以上であることから、「5.2 敷地周辺の地震発生状況」による地震の規模、位置等に関する最新の知見をもとに、敷地に大きな影響を与える地震として、震度 5 弱（震度 V）程度以上のものを地震発生様式別に分類して想定する。

宇佐美ほか（2013）⁽¹⁾ に記載されている震度分布図及び気象庁が公表している震度分布図によれば、第 5.2-1 図の地震のうち、敷地周辺で震度 5 弱（震度 V）程度以上であったと推定される地震は、1703 年元禄地震、1895 年霞ヶ浦付近の地震、1923 年関東大地震、1930 年那珂川下流域の地震、1938 年塩屋崎沖の地震、1938 年鹿島灘の地震、1938 年福島県東方沖地震、2011 年東北地方太平洋沖地震の本震及び同日 15 時 15 分に発生した 2011 年東北地方太平洋沖地震の余震（以下「2011 年東北地方太平洋沖地震の最大余震」という。）である。

また、第 5.2-1 図の地震のうち、敷地及びその周辺での震度並びに家屋等の被害が明らかでない地震については、第 5.4-1 図に示すように、村松（1969）⁽⁴⁾ 及び勝又・徳永（1971）⁽⁵⁾ による地震の規模及び震央距離と震度との関係から敷地での震度を推定した。これによれば、敷地周辺で震度 5 弱（震度 V）程度以上であったと推定される地震は、818 年関東諸国の地震、1677 年磐城・常陸・安房・上総・下総の地震、1896 年鹿島灘の地震及び 1921 年茨城県龍ヶ崎付近の地震である。

5.4.1 内陸地殻内地震

第 5.2-1 図に示す過去の被害地震のうち、敷地周辺で震度 5 弱（震度 V）程度以上であったと推定される内陸地殻内地震の記録はない。

一方、「5.3 活断層の分布状況」の活断層等について、想定される地震の規模及び震央距離と震度との関係から敷地での震度を推定した。ここで、活断層等から想定される地震の規模は、松田（1975）⁽⁶⁾ により算定する。第 5.4-2 図に示すように、関谷断層による地震、関東平野北西縁断層帯による地震、F 3 断層、F 4 断層による地震、関ロー米平リニアメントによる地震、豎破山南西付近リニアメント（以下「豎破山リニアメント」という。）による地震、日立市宮田町付近リニアメント（以下「宮田町リニアメント」という。）による地震、吾国山断層による地震、F 8 断層による地震、F 16 断層による地震、A-1 背斜による地震、棚倉破碎帯東縁付近の推定活断層、棚倉破碎帯西縁断層（の一部）、中染付近、西染付近のリニアメントの連動（以下「棚倉破碎帯東縁断層、同西縁断層の連動」という。）による地震及び F 1 断層、北方陸域の断層の連動による地震が、敷地周辺で震度 5 弱（震度 V）程度以上になると推定される。

なお、関ロー米平リニアメントによる地震、豎破山リニアメントによる地震、宮田町リニアメントによる地震及び吾国山断層による地震の地震動評価においては、それぞれの地震の規模

をM6.8として評価する。その際、それぞれの断層長さを16kmとした。

5.4.2 プレート間地震

第5.2-1図に示す過去の被害地震のうち、敷地周辺で震度5弱（震度V）程度以上であったと推定されるプレート間地震は、1677年磐城・常陸・安房・上総・下総の地震、1703年元禄地震、1896年鹿島灘の地震、1923年関東大地震、1930年那珂川下流域の地震、1938年塩屋崎沖の地震、1938年鹿島灘の地震、1938年福島県東方沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震の本震及び2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震である。これらのうち、1703年元禄地震及び1923年関東大地震はフィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生したプレート間地震（以下「フィリピン海プレート間地震」という。）であり、それ以外の地震は太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生したプレート間地震（以下「太平洋プレート間地震」という。）である。

また、中央防災会議（2004）⁽⁷⁾では、フィリピン海プレート間地震として茨城県南部を震源とするM7.3の地震を想定している。さらに、地震調査委員会（2012）⁽⁸⁾では、太平洋プレート間地震として茨城県沖を震源とするM6.9～M7.6の地震を想定している。

5.4.3 海洋プレート内地震

第5.2-1図に示す過去の被害地震のうち、敷地周辺で震度5弱（震度V）程度以上であったと推定される海洋プレート内地震は、818年関東諸国の地震、1895年霞ヶ浦付近の地震及び1921年茨城県龍ヶ崎付近の地震であり、これらはフィリピン海プレートで発生した地震である。

また、中央防災会議（2004）⁽⁷⁾では、茨城県南部のフィリピン海プレートを震源とするM7.3の地震を想定している。さらに、地震調査委員会（2009）⁽⁹⁾では、北関東から東北地方にかけて、太平洋プレートを震源とするM7.1の地震を想定している。

5.4.4 その他の地震

敷地周辺において、上記3種類の地震のいずれにも分類されない特徴的な地震は発生していない。

5.5 敷地地盤の特性

5.5.1 解放基盤表面の設定

地質調査によると、敷地周辺では新第三紀の久米層がほぼ水平で相当な拡がりをも有して分布している。敷地内のボーリング孔で実施したPS検層結果によると、G.L.-360m以深ではS波速度が0.7km/s以上となっていることから、G.L.-360mの位置に解放基盤表面を設定する。なお、地震動評価のうち応答スペクトルに基づく手法における解放基盤表面での地盤の弾性波速度値を、P波速度については2.04km/s、S波速度については0.71km/sと設定する。

5.5.2 地震観測

敷地地盤における地震観測は、第 5.5-1 図に示す位置で実施している。観測された主な地震の諸元を第 5.5-1 表に、震央分布を第 5.5-2 図に示す。これらの地震について、地中最深部（G. L. -360m）で得られた観測記録の応答スペクトルを第 5.5-3 図に、各深度で得られた観測記録の応答スペクトルを第 5.5-4 図に示す。これらの図によると、岩盤内での著しい増幅は認められない。

5.5.3 敷地周辺の地盤構造

地震観測記録から表層地盤の影響を取り除く剥ぎ取り解析に用いる浅部の地盤構造モデル及び敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の評価に用いる深部の地盤構造モデルについては、敷地及び敷地周辺の地質構造調査結果を踏まえ、地震観測記録等を用いて最適化して得られたものを採用する。浅部の地盤構造モデルを第 5.5-2 表に、深部の地盤構造モデルを第 5.5-3 表に示す。

また、地質調査所（2013）⁽¹⁰⁾ による重力異常分布によると、敷地の北西部には重力の急変部が、敷地西側には船底状の構造が見られる。これらは、「3. 地盤」で示すように、深さ 4km 程度において不整形地盤が存在するためであるが、地震観測記録の分析結果、反射法探査、屈折法探査及び微動アレイ探査による速度構造を用いた解析的検討の結果から、これらが敷地における地震動評価に与える影響は小さいと判断される。

5.6 基準地震動 S s

5.6.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

5.6.1.1 検討用地震の選定

「5.4 地震の分類」を踏まえ、地震発生様式ごとに敷地に特に大きな影響を及ぼすと考えられる地震を Noda *et al.* (2002)⁽¹¹⁾ の方法により検討用地震として選定する。Noda *et al.* (2002)⁽¹¹⁾ の方法による応答スペクトルの算定に当たっては、震源位置や地震の発生様式ごとに分類した地震観測記録を用いた補正係数を用いることとする。

(1) 地震観測記録を用いた補正係数

敷地で観測した地震のうち、M5.5 以上、震源深さ 60km 以浅かつ等価震源距離 200km 以内の観測記録について、表層地盤の影響を取り除いた解放基盤表面における地震波（以下「解放基盤波」という。）を評価し、Noda *et al.* (2002)⁽¹¹⁾ の方法による応答スペクトルとの比（以下「残差」という。）を地震発生様式ごとに算出する。なお、地震動評価に際しては、残差の傾向を踏まえて設定したものを補正係数として用いる。

内陸地殻内地震のうち、福島県と茨城県の県境付近で発生した内陸地殻内地震の残差には短周期及び長周期側で大きくなる傾向が見られるため、この領域で発生する地震については全周期帯で 1.8 倍の補正係数を考慮する。

プレート間地震のうち、敷地から 40km 程度東方沖合の鹿島灘付近で発生した太平洋プレート間地震の残差には短周期側で大きくなる傾向が見られるため、この領域で発生する地震については短周期側で 3 倍の補正係数を考慮する。また、鹿島灘付近で発生した地震を除く太平洋プレート間地震の残差には長周期側で大きくなる傾向が見られるため、この領域で発生する地

震については長周期帯で 1.8 倍の補正係数を考慮する。

海洋プレート内地震のうち、太平洋プレートで発生した海洋プレート内地震の残差には短周期側で大きくなる傾向が見られるため、短周期側で 3 倍の補正係数を考慮する。また、フィリピン海プレートで発生した海洋プレート内地震の残差には短周期及び長周期側で大きくなる傾向が見られるため、全周期帯で 2 倍の補正係数を考慮する。

設定した補正係数を第 5.6-1 図に示す。

(2) 内陸地殻内地震

活断層等の等価震源距離 (X_{eq}) については、地震発生層の上端深さと下端深さより断層幅を仮定し、断層長さから設定される一様断層モデルより算出する。

a. 地震発生層の設定

原子力安全基盤機構 (2004) ⁽¹²⁾ では、地震の震源鉛直分布から求められる D10 及び D90 (地表からの地震発生数の累計がそれぞれ全体の 10% 及び 90% となる震源深さ) を検討しており、敷地周辺の「福島・茨城」ではそれぞれ 6.1km、18.1km としている。

また、地震発生層と速度構造の関係については、廣瀬・伊藤 (2006) ⁽¹³⁾ によると、浅い地殻内で発生する微小地震は P 波速度 5.8km/s~6.4km/s の層に集中しているとされており、三浦ほか (2000) ⁽¹⁴⁾ による日本海溝・福島沖前弧域における海底地震計及びエアガンを用いた深部構造探査結果からすると、福島県の海岸線において P 波速度 5.5km/s、6.0km/s 及び 6.5km/s となる深さは、それぞれ約 6km、約 9km 及び約 15km となっている。

一方、「5.2.2 敷地周辺の地震活動」における震源の鉛直分布図によれば、深さ約 30km の範囲まで地震が発生している。

以上を踏まえ、安全側に配慮して上端深さを 5km、下端深さを 18km として地震動評価を行う。

b. 検討用地震の選定

「5.4.1 内陸地殻内地震」で選定した地震について、Noda *et al.* (2002) ⁽¹¹⁾ の方法により応答スペクトルを求める。このうち福島県と茨城県の県境付近に位置する関口一米平リニアメントによる地震、豎破山リニアメントによる地震、宮田町リニアメントによる地震、棚倉破砕帯東縁断層、同西縁断層の連動による地震及び F 1 断層、北方陸域の断層の連動による地震については、「5.6.1.1 検討用地震の選定 (1) 地震観測記録を用いた補正係数」に基づき、福島県と茨城県の県境付近で発生した内陸地殻内地震による補正係数を考慮する。その他の断層による地震については、断層近傍で補正係数の設定に必要な地震が発生していないことから、補正係数を考慮しない。算定に用いた諸元を第 5.6-1 表に示す。応答スペクトルの算定結果の比較を第 5.6-2 図に示す。

第 5.6-2 図より、敷地への影響が大きい F 1 断層、北方陸域の断層の連動による地震を検討用地震として選定する。

(3) プレート間地震

「5.4.2 プレート間地震」で選定した地震のうち、2011 年東北地方太平洋沖地震の本震及び 2011 年東北地方太平洋沖地震の最大余震以外の地震については、Noda *et al.* (2002) ⁽¹¹⁾ の方法により応答スペクトルを求める。このうち鹿島灘を震源とする 1896 年鹿島灘の地震、

1938 年鹿島灘の地震及び地震調査委員会（2012）⁽⁸⁾ による茨城県沖の地震については、「5.6.1.1 検討用地震の選定（1）地震観測記録を用いた補正係数」に基づき、鹿島灘付近で発生した太平洋プレート間地震による補正係数を考慮する。一方、1677 年磐城・常陸・安房・上総・下総の地震、1930 年那珂川下流域の地震、1938 年塩屋崎沖の地震及び 1938 年福島県東方沖地震については、「5.6.1.1 検討用地震の選定（1）地震観測記録を用いた補正係数」に基づき、鹿島灘付近で発生した地震を除く太平洋プレート間地震による補正係数を考慮する。その他の断層による地震については、断層近傍で補正係数の設定に必要な地震が発生していないことから、補正係数を考慮しない。なお、2011 年東北地方太平洋沖地震の本震及び 2011 年東北地方太平洋沖地震の最大余震の応答スペクトルについては、敷地での地震観測記録より求めた解放基盤波より評価する。算定に用いた諸元を第 5.6-2 表に示す。応答スペクトルの算定結果の比較を第 5.6-3 図に示す。

第 5.6-3 図より、敷地への影響が大きい 2011 年東北地方太平洋沖地震の本震を検討用地震として選定する。

（4）海洋プレート内地震

「5.4.3 海洋プレート内地震」で選定した地震について、Noda *et al.*（2002）⁽¹¹⁾ の方法により応答スペクトルを求める。このうち 818 年関東諸国の地震、1895 年霞ヶ浦付近の地震、1921 年茨城県龍ヶ崎付近の地震及び中央防災会議（2004）⁽⁷⁾ による茨城県南部の地震については、「5.6.1.1 検討用地震の選定（1）地震観測記録を用いた補正係数」に基づき、フィリピン海プレートで発生した海洋プレート内地震による補正係数を考慮する。一方、地震調査委員会（2009）⁽⁹⁾ による震源断層をあらかじめ特定しにくい地震については、「5.6.1.1 検討用地震の選定（1）地震観測記録を用いた補正係数」に基づき、太平洋プレートで発生した海洋プレート内地震による補正係数を考慮する。算定に用いた諸元を第 5.6-3 表に、算定結果の比較を第 5.6-4 図に示す。

第 5.6-4 図より、敷地への影響が大きい中央防災会議（2004）⁽⁷⁾ による茨城県南部の地震を検討用地震として選定する。

5.6.1.2 検討用地震の地震動評価

（1）内陸地殻内地震

a. 基本震源モデルの設定

F 1 断層、北方陸域の断層の連動による地震の基本震源モデルは、原則として地震調査委員会（2009）⁽⁹⁾ による震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）（以下「強震動予測レシピ」という。）及び地質調査結果に基づき正断層の地震として設定する。

アスペリティ位置については、位置の設定に参考となる情報がないため、敷地に近くなるように設定する。破壊開始点については、各アスペリティ下端中央に設定する。

設定した基本震源モデルを第 5.6-4 表及び第 5.6-5 図に示す。

b. 不確かさを考慮するパラメータの選定

短周期レベルについて、2007 年新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、強震動予測レシピによる値の 1.5 倍の値を考慮する。

地震動評価において考慮する各検討ケースの主な諸元の比較を第 5.6-5 表に、設定した各検討ケースの断層パラメータ及び断層モデルを第 5.6-6 表及び第 5.6-5 図に示す。

c. 応答スペクトルに基づく手法による地震動評価

応答スペクトルに基づく手法による地震動評価は、Noda *et al.* (2002)⁽¹¹⁾ に基づき行うものとし、「5.6.1.1 検討用地震の選定 (1) 地震観測記録を用いた補正係数」に基づき、福島県と茨城県の県境付近で発生した内陸地殻内地震による補正係数を考慮する。

第 5.6-5 表に示す検討ケースを対象として、上記の手法に基づき算定した応答スペクトルを第 5.6-6 図に示す。

d. 断層モデルを用いた手法による地震動評価

断層モデルを用いた手法による地震動評価は、敷地における観測記録をグリーン関数とした経験的グリーン関数法により行う。

要素地震の諸元及び震央位置を第 5.6-7 表及び第 5.6-7 図に示す。この要素地震は、想定する地震の震源域で発生した同じ発生様式の地震であり、震源特性、伝播経路特性及び敷地地盤の振動特性を反映したものである。

第 5.6-5 表に示す各検討ケースを対象として、上記の手法に基づき算定した応答スペクトルを第 5.6-8 図に示す。

(2) プレート間地震

a. 基本震源モデルの設定

2011 年東北地方太平洋沖地震の本震の基本震源モデルは、諸井ほか (2013)⁽¹⁵⁾ に基づき、第 5.6-8 表及び第 5.6-9 図に示すように設定する。

b. 不確かさを考慮するパラメータの選定

アスペリティ位置、短周期レベルについて不確かさを考慮する。

短周期レベルの不確かさについては、佐藤 (2010)⁽¹⁶⁾ や片岡ほか (2006)⁽¹⁷⁾ 等におけるプレート間地震の短周期レベルと地震モーメントの関係を参考に、基本震源モデルで設定した値の 1.5 倍を考慮する。

地震動評価において考慮する各検討ケースの主な諸元の比較を第 5.6-9 表に、設定した各検討ケースの断層パラメータ及び断層モデルを第 5.6-8 表、第 5.6-10 表、第 5.6-9 図及び第 5.6-10 図に示す。

c. 応答スペクトルに基づく手法による地震動評価

地震規模がモーメントマグニチュード M_w 9 となる 2011 年東北地方太平洋沖地震の本震については、応答スペクトルに基づく手法による地震動評価を行うための評価手法がないと判断されることから、応答スペクトルに基づく手法による地震動評価に代えて、「5.6.1.1 検討用地震の選定」で示した解放基盤波を用いる。

解放基盤波の応答スペクトルを第 5.6-11 図に示す。

d. 断層モデルを用いた手法による地震動評価

断層モデルを用いた手法による地震動評価は、敷地における観測記録をグリーン関数とした経験的グリーン関数法により行う。なお、敷地においては適切な観測記録が得られていないが、敷地に隣接する核燃料サイクル工学研究所においては適切な観測記録が得られていることから、

敷地及び核燃料サイクル工学研究所の地震動特性を踏まえて、核燃料サイクル工学研究所における観測記録をグリーン関数とした地震動評価を行う。

要素地震の諸元及び震央位置を第 5.6-11 表及び第 5.6-12 図に示す。この要素地震は、想定する地震の震源域で発生した同じ発生様式の地震であり、震源特性、伝播経路特性及び敷地地盤の振動特性を反映したものである。

第 5.6-9 表に示す各検討ケースを対象として、断層モデルを用いた手法に基づき算定した応答スペクトルを第 5.6-13 図に示す。

(3) 海洋プレート内地震

a. 基本震源モデルの設定

茨城県南部の地震の基本震源モデルは、原則として中央防災会議（2004）⁽⁷⁾に基づき設定する。破壊開始点については、アスペリティ下端に複数設定する。

設定した基本震源モデルを第 5.6-12 表及び第 5.6-14 図に示す。

b. 不確かさを考慮するパラメータの選定

アスペリティ位置について不確かさを考慮する。

地震動評価において考慮する検討ケースの主な諸元の比較を第 5.6-13 表に、設定した検討ケースの断層モデルを第 5.6-15 図に示す。

c. 応答スペクトルに基づく手法による地震動評価

応答スペクトルに基づく手法による地震動評価は、Noda *et al.*（2002）⁽¹¹⁾に基づき行うものとし、「5.6.1.1 検討用地震の選定（1）地震観測記録を用いた補正係数」に基づき、フィリピン海プレートで発生した海洋プレート内地震による補正係数を考慮する。

第 5.6-13 表に示す各検討ケースを対象として、上記の手法に基づき算定した応答スペクトルを第 5.6-16 図に示す。

d. 断層モデルを用いた手法による地震動評価

断層モデルを用いた手法による地震動評価は、敷地において適切な観測記録が得られていないことから、短周期領域に統計的グリーン関数法を、長周期領域に波数積分法を用いたハイブリッド合成法を行う。

第 5.6-13 表に示す各検討ケースを対象として、上記の手法に基づき算定した応答スペクトルを第 5.6-17 図に示す。

5.6.2 震源を特定せず策定する地震動

地質調査によると、敷地近傍に耐震設計上考慮する断層は存在しないが、敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内地震の全てを事前に評価し得るとは言い切れないとの観点から、震源を特定せず策定する地震動を考慮する。

5.6.2.1 評価手法

震源を特定せず策定する地震動の策定においては、震源と活断層とを関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、それらを基に

敷地の地盤物性を考慮するとともに、地域性や最新知見を考慮して設定する。

5.6.2.2 震源を特定せず策定する地震動に関する知見

加藤ほか（2004）⁽¹⁸⁾ は、内陸地殻内地震を対象として、詳細な地質学的調査によっても震源位置と地震規模をあらかじめ特定できない地震（以下「震源を事前に特定できない地震」という。）による震源近傍の硬質地盤上における強震記録に基づき、震源を事前に特定できない地震による地震動の上限レベルを、S波速度が 0.7km/s 相当の岩盤上における水平方向の応答スペクトルとして提案している。この考え方は、震源を特定せず策定する地震動と同等の考え方に基づく知見であると考えられる。

5.6.2.3 地域性に関する検討

震源を特定せず策定する地震動の評価に当たっては、震源と活断層とを関連付けることが困難な地震（以下「震源を特定しない地震」という。）の敷地周辺における地域性について考慮する。

(1) 領域震源区分から推定される地震の規模

地震調査委員会（2009）⁽⁹⁾ は、確率論的地震動予測地図の作成において、陸域の震源断層を予め特定しにくい地震を領域震源として考慮している。地震調査委員会（2009）⁽⁹⁾ によると、敷地が位置する領域7における陸域の震源断層をあらかじめ特定しにくい地震の最大マグニチュードはM6.8としている。なお、領域7で過去に発生した敷地から約100km以内の主な被害地震のうち、内陸地殻内地震であって震源を特定しない地震は、1725年日光の地震（M6.0）、1888年栃木県の地震（M6.0）及び1949年今市地震（M6.2、M6.4）であり、その規模はM6.0～M6.4程度である。

(2) 地震発生層から推定される地震の規模

「5.6.1.1 検討用地震の選定」における地震発生層の検討より、上端深さは5km、下端深さは18kmと想定した。

震源を特定しない地震の最大規模は、地震発生層を飽和する震源断層による地震であると考え、地震発生層の上限から下限まで広がる断層幅及びそれに等しい断層長さを有する震源断層を仮定し、入倉・三宅（2001）⁽¹⁹⁾ による断層面積と地震モーメントの関係式及び武村（1990）⁽²⁰⁾ による地震モーメントとMの関係式を介して地震規模を推定する。この際、敷地周辺の断層性状より断層傾斜角を60°とした場合、地震規模はM6.7に相当する。

5.6.2.4 震源を特定せず策定する地震動の設定

以上の検討を踏まえると、領域震源区分及び地震発生層から推定される敷地周辺における震源を特定しない地震の最大規模はM6.8程度であると考えられる。一方、加藤ほか（2004）⁽¹⁸⁾ においては、これと同等の規模の地震をスペクトル設定時の検討対象に加えていることから、その地震動のレベルは、敷地周辺の地域性を適切に考慮したものであると考えられる。したがって、敷地における震源を特定せず策定する地震動の水平方向の応答スペクトルは、加藤ほか（2004）⁽¹⁸⁾ に基づき設定する。また、鉛直方向の応答スペクトルは、Noda *et al.*（2002）⁽¹¹⁾

に基づき水平方向の応答スペクトルを変換して設定する。加藤ほか（2004）⁽¹⁸⁾ による敷地での応答スペクトルを第 5.6-18 図に示す。

5.6.2.5 超過確率の参照

原子力安全基盤機構（2005）⁽²¹⁾ は、断層モデルを用いた手法によるM5.5～M7.3の地震の震源近傍における地震動評価結果に基づき、各地域の震源を特定しない地震について、地震基盤面における水平方向の地震動の年超過確率を求め、その一様ハザードスペクトルを算出している。敷地が位置する領域（南東北・関東・中部）における一様ハザードスペクトルと、加藤ほか（2004）⁽¹⁸⁾ による震源を事前に特定できない地震による地震動の応答スペクトルを Noda *et al.*（2002）⁽¹¹⁾ による地盤の増幅特性を用いて補正した地震基盤面相当における応答スペクトルの比較を第 5.6-19 図に示す。

第 5.6-19 図によると、加藤ほか（2004）⁽¹⁸⁾ に基づき設定した震源を特定せず策定する地震動の年超過確率は 10^{-5} ～ 10^{-6} 程度である。

5.6.2.6 その他の検討対象地震

加藤ほか（2004）⁽¹⁸⁾ の応答スペクトルの設定において反映されていない内陸地殻内地震のうち、2004 年北海道留萌支庁南部の地震（M6.1）を、震源を特定せず策定する地震動の検討対象地震として考慮する。

2004 年北海道留萌支庁南部の地震は、震源近傍の観測点において $1,000\text{cm}/\text{s}^2$ を超える加速度記録が得られた特徴的な地震である。本地震の観測記録は表層地盤で得られたものであるため、佐藤ほか（2013）⁽²²⁾ を踏まえ、解放基盤表面における地震動と見做せるように補正する。なお、水平方向の地震動については、敷地に及ぼす影響が大きいEW方向で代表させる。

検討対象地震の応答スペクトルを第 5.6-20 図に示す。

5.6.3 基準地震動 S_s の策定

基準地震動 S_s は、「5.6.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「5.6.2 震源を特定せず策定する地震動」の評価に基づき、敷地の解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動として策定する。

5.6.3.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動に基づく基準地震動 S_s

基準地震動 S_s の設計用応答スペクトルは、「5.6.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」における検討用地震の応答スペクトルに基づく地震動評価結果を包絡するように設定した基準地震動 S_s-D とする（水平方向を S_s-D_H 、鉛直方向を S_s-D_V とする）。

基準地震動 S_s-D の設計用応答スペクトルを第 5.6-21 図に示す。また、そのコントロールポイントの値を第 5.6-14 表に示す。

次に、基準地震動 S_s-D の設計用応答スペクトルと検討用地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を第 5.6-22 図に示す。第 5.6-22 図より、基準地震動 S_s-D の設計用応答スペクトルとの包絡関係を考慮して、第 5.6-15 表のとおり、断層モデルを用いた手法に

よる基準地震動 $S_s - 1$ 及び基準地震動 $S_s - 2$ を選定する。

5.6.3.2 震源を特定せず策定する地震動に基づく基準地震動 S_s

「5.6.2 震源を特定せず策定する地震動」において設定した震源を特定せず策定する地震動の評価結果と、基準地震動 $S_s - D$ の設計用応答スペクトルを第 5.6-23 図に示す。第 5.6-23 図より、基準地震動 $S_s - D$ の設計用応答スペクトルが、全ての周期帯において震源を特定せず策定する地震動の評価結果を上回ることを確認した。

5.6.3.3 基準地震動 S_s の応答スペクトル

「5.6.3.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動に基づく基準地震動 S_s 」及び「5.6.3.2 震源を特定せず策定する地震動に基づく基準地震動 S_s 」を踏まえて策定した基準地震動 S_s の応答スペクトルを第 5.6-24 図に示す。

5.6.3.4 基準地震動 S_s の設計用地震波

基準地震動 S_s の設計用地震波は、基準地震動 $S_s - D$ の設計用応答スペクトルに適合する模擬地震波と、断層モデルを用いた手法による基準地震動 $S_s - 1$ 及び基準地震動 $S_s - 2$ の地震波とする。

基準地震動 $S_s - D$ の模擬地震波は、乱数の位相を持つ正弦波の重ね合わせによって作成するものとし、振幅包絡線の経時変化については、Noda *et al.* (2002)⁽¹¹⁾ の方法に基づき、第 5.6-16 表に示す形状とする。

基準地震動 $S_s - D$ の模擬地震波の作成結果を第 5.6-17 表に、基準地震動 $S_s - D$ の設計用応答スペクトルに対する模擬地震波の応答スペクトルの比を第 5.6-25 図に示す。

以上より、策定した基準地震動 $S_s - D$ の時刻歴波形を第 5.6-26 図に、断層モデルを用いた手法による基準地震動 $S_s - 1$ 及び基準地震動 $S_s - 2$ の時刻歴波形を第 5.6-27 図に示す。

5.7 基準地震動 S_s の超過確率

参考として、基準地震動 S_s の応答スペクトルと日本原子力学会 (2007)⁽²³⁾ の方法に基づき算定した敷地における地震動の一樣ハザードスペクトルを第 5.6-28 図に示す。

第 5.6-28 図によると、基準地震動 S_s の応答スペクトルの年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度である。

5.8 参考文献

- (1) 宇佐美龍夫, 石井寿, 今村隆正, 武村雅之, 松浦律子. 日本被害地震総覧 599-2012. 東京大学出版会. 2013, 724p.
- (2) 気象庁. 地震・火山月報 (カタログ編) 2013 年 3 月. 気象業務支援センター, 2014. ほか
- (3) 気象庁, 消防庁. 震度に関する検討会報告書. 震度に関する検討会, 2009-03-23.

- (4) 村松郁栄. 震度分布と地震のマグニチュードとの関係. 岐阜大学教育学部研究報告. 自然科学. vol. 4, no. 3, 1969, pp. 168-176.
- (5) 勝又護, 徳永規一. 震度IVの範囲と地震の規模および震度と加速度の対応. 験震時報. vol. 36, no. 3, 4, 1971, pp. 89-96.
- (6) 松田時彦. 活断層から発生する地震の規模と周期について. 地震第2輯. vol. 28, 1975, pp. 269-283.
- (7) 中央防災会議. 中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」(第12回)地震ワーキンググループ報告書. 2004-11-17.
- (8) 地震調査研究推進本部地震調査委員会. 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について. 2012-2-9 変更.
- (9) 地震調査研究推進本部地震調査委員会. 全国地震動予測地図. 2009-07-21.
- (10) 地質調査総合センター編. 日本重力データベース DVD 版. 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2013.
- (11) Shizuo Noda, Kazuhiko Yashiro, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo, Takahide Watanabe. RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES. OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis, Istanbul, 16-18 October, 2002.
- (12) 原子力安全基盤機構. 平成15年度地震記録データベース SANDEL のデータ整備と地震発生上下限層深さの評価に関する報告書(JNES/SAE04-017). 2004-8.
- (13) 廣瀬一聖, 伊藤潔. 広角反射法および屈折法解析による近畿地方の地殻構造の推定. 京都大学防災研究所年報. No. 49B, 2006, pp. 307-321.
- (14) 三浦誠一, 小平秀一, 仲西理子, 鶴哲郎, 高橋成実, 金田義行. エアガンー海底地震計データによる日本海溝・福島沖前弧域の地震波速度構造. JAMSTEC 深海研究. no. 16, 2000, pp. 87-100.
- (15) 諸井孝文, 広谷浄, 石川和也, 水谷浩之, 引間和人, 川里健, 生玉真也, 釜田正毅. 標準的な強震動レシピーに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動の再現. 日本地震工学会第10回年次大会梗概集. 2013, pp. 381-382.
- (16) 佐藤智美. 逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケーリング則. 日本建築学会構造系論文集. vol. 75, no. 651, 2010, pp. 923-932.
- (17) 片岡正次郎, 佐藤智美, 松本俊輔, 日下部毅明. 短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式. 土木工学会論文集A. vol. 62, No. 4, 2006, pp. 740-757.
- (18) 加藤研一, 宮腰勝義, 武村雅之, 井上大栄, 上田圭一, 壇一男. 震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベルー地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討ー. 日本地震工学会論文集. vol. 4, no. 4, 2004, pp. 46-86.
- (19) 入倉孝次郎, 三宅弘恵. シナリオ地震の強震動予測. 地学雑誌. vol. 110, no. 6, 2001, pp. 849-875.

- (20) 武村雅之. 日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係. 地震 第2輯. vol. 43, 1990, pp. 257-265.
- (21) 原子力安全基盤機構. 震源を特定しにくい地震による地震動の検討に関する報告書 (平成 16 年度) (JNES/SAE05-004). 2005-6.
- (22) 佐藤浩章, 芝良昭, 東貞成, 功刀卓, 前田宜浩, 藤原広行. 物理探査・室内試験に基づく 2004 年留萌支庁南部の地震による K-NET 港町観測点 (HKD020) の基盤地震動とサイト特性評価. 電力中央研究所報告. 2013.
- (23) 日本原子力学会. 原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準 : 2007 (AESJ-SC-P006:2007). 日本原子力学会標準, 2007, 636p.